

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ
Директор по образовательной
деятельности

_____ С.Т. Князев
«___» _____

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1147804	Методы теоретической астрофизики

Екатеринбург

Перечень сведений о рабочей программе модуля	Учетные данные
Образовательная программа 1. Астрономия	Код ОП 1. 03.05.01/33.01
Направление подготовки 1. Астрономия	Код направления и уровня подготовки 1. 03.05.01

Программа модуля составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Кузнецов Эдуард Дмитриевич	доктор физико-математических наук, доцент	Заведующий кафедрой	астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды
2	Островский Андрей Борисович	без ученой степени, без ученого звания	Старший преподаватель	астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды
3	Старицин Евгений Игоревич	кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник	Преподаватель	астрономии и геодезии

Согласовано:

Управление образовательных программ

Е.С. Комарова

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Методы теоретической астрофизики

1.1. Аннотация содержания модуля

В модуль входят дисциплины «Теоретическая астрофизика» и «Строение и эволюция звезд», рассматривающие вопросы теоретического астрофизического описания и изучения процессов переноса излучения, энерговыделения и эволюции вещества в экстремальных физических условиях, возникающих в недрах и на поверхности звезд.

1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Строение и эволюция звезд	3
2	Теоретическая астрофизика	4
ИТОГО по модулю:		7

1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	1. Астрофизика
Постреквизиты и кореквизиты модуля	1. Физика межзвездной среды и радиоастрономия 2. Дополнительные главы астрофизики и звездной астрономии

1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3
Строение и эволюция звезд	ОПК-2 - Способен выполнять исследования при решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и	З-1 - Демонстрировать понимание принципов, особенностей и задач проведения фундаментальных и прикладных исследований, планирования модельных или реальных экспериментов

	осуществлять сложные реальные или модельные эксперименты	У-1 - Соотнести цель и задачи исследования с набором методов исследования, выбирать необходимое сочетание цели и средств при планировании исследований Д-2 - Проявлять ответственность и настойчивость в достижении цели
	ПК-1 - Владеет методами астрономического, физического и математического исследований при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин	З-1 - Изложить основные методы астрономических, физических и математических исследований У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы
	ПК-4 - Владеет наблюдательными и экспериментальными методами исследований астрономических и физических объектов и явлений	З-1 - Привести примеры основных методов наблюдательных и экспериментальных исследований астрономических и физических объектов и явлений У-1 - Самостоятельно применять методы наблюдательных и экспериментальных исследований астрономических и физических объектов и явлений
Теоретическая астрофизика	ОПК-2 - Способен выполнять исследования при решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и осуществлять сложные реальные или модельные эксперименты	З-1 - Демонстрировать понимание принципов, особенностей и задач проведения фундаментальных и прикладных исследований, планирования модельных или реальных экспериментов У-1 - Соотнести цель и задачи исследования с набором методов исследования, выбирать необходимое сочетание цели и средств при планировании исследований Д-1 - Демонстрировать аналитические умения и креативное мышление Д-2 - Проявлять ответственность и настойчивость в достижении цели
	ПК-1 - Владеет методами астрономического, физического и математического исследований при анализе глобальных проблем на основе	З-1 - Изложить основные методы астрономических, физических и математических исследований У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы

	глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин	
	ПК-4 - Владеет наблюдательными и экспериментальными методами исследований астрономических и физических объектов и явлений	З-1 - Привести примеры основных методов наблюдательных и экспериментальных исследований астрономических и физических объектов и явлений У-1 - Самостоятельно применять методы наблюдательных и экспериментальных исследований астрономических и физических объектов и явлений

1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Строение и эволюция звезд

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Кузнецов Эдуард Дмитриевич	доктор физико-математических наук, доцент	Заведующий кафедрой	астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды
2	Старицин Евгений Игоревич	кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник	Преподаватель	астрономии и геодезии

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 6 от 15.10.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Кузнецов Эдуард Дмитриевич, Заведующий кафедрой, астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды
- Старицин Евгений Игоревич, Преподаватель, астрономии и геодезии

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания; Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Механическое равновесие звезд	Элементы ньютоновской теории тяготения. Теорема Гаусса. Уравнение Пуассона. Сферически симметричное распределение вещества. Потенциал сферически симметричного поля тяготения. Давление вещества. Уравнение гидростатического равновесия. Политропы. Теория Лэна—Эмдена. Физические условия в центре звезды.
P2	Устойчивость равновесных газовых конфигураций.	Постановка задачи. Лагранжева вариация плотности. Лагранжева вариация давления. Линеаризованное уравнение движения. Линейное адиабатическое волновое уравнение. Динамическая неустойчивость звезд.
P3	Адиабатические радиальные колебания звезд.	Модель звезды с постоянной плотностью. Распределение амплитуды и частоты колебаний в модели звезды с постоянной плотностью. Соотношение период—средняя плотность пульсирующих переменных звезд.
P4	Гравитационная энергия звезды	Энергия гравитационного взаимодействия сферически симметричной звезды. Теорема вириала. Гравитационная энергия политропы. Внутренняя и полная энергия политропы. Устойчивость звезд. Физические условия в звездах. Тепловая шкала времени.
P5	Ядерная энергия звезды.	Запасы ядерной энергии. Ядерная шкала времени. Характер ядерных реакций в звездном веществе. Сечение

		взаимодействия для резонансных ядерных реакций и ядерных реакций прямого захвата. Астрофизический фактор. Скорость энерговыделения в ядерных реакциях. Скорость ядерных реакций прямого захвата в веществе звезд. Гамовский пик. Скорость резонансных ядерных реакций в веществе звезд. Ядерные реакции в звездах
P6	Закон сохранения энергии	Закон сохранения энергии в интегральной форме. Первый закон термодинамики в приложении к звездам. Эквивалентность интегральной и дифференциальной форм закона сохранения энергии
P7	Лучистый перенос энергии	Уравнение переноса излучения. Уравнения для моментов. Приближенная зависимость интенсивности излучения от направления. Давление излучения. Диффузионное приближение. Стандартная модель звезды.
P8	Непрозрачность звездного вещества	Взаимодействие излучения с веществом. Росселандово среднее. Формулы Крамерса. Томсоновское рассеяние.
P9	Перенос энергии конвекцией. Теория пути перемешивания	Критерий конвективной устойчивости. Избыток тепловой энергии конвективного элемента. Перенос энергии конвективными элементами. Среднее значение скорости конвективного элемента. Температура вещества конвективного элемента. Радиативный температурный градиент.
P10	Основные результаты численного исследования строения и эволюции звёзд.	Система уравнений строения звезды. Численные методы решения системы уравнений строения звезды. Подход к изучению эволюции звезд. Изменение физических условий в центральных частях звезд. Изменение поверхностных характеристик звезд. Конечные этапы эволюции звёзд.
P11	Строение белых карликов	Уравнение состояния вещества белых карликов. Случай идеального нерелятивистски вырожденного электронного газа. Случай идеального релятивистски вырожденного электронного газа. Верхний предел массы белых карликов. Нейтронизация. Верхний предел плотности устойчивых белых карликов
P12	Тепловая эволюция белых карликов	Температура вещества белых карликов. Элементарный анализ остывания белых карликов.

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	учебно-исследовательская, научно-исследовательская	Технология формирования уверенности и готовности к самостоятельной успешной профессиональной	ОПК-2 - Способен выполнять исследования при решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и осуществлять	Д-2 - Проявлять ответственность и настойчивость в достижении цели

		ой деятельности	сложные реальные или модельные эксперименты	
--	--	-----------------	---	--

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Строение и эволюция звезд

Электронные ресурсы (издания)

1. Шапиро, С. Л.; Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды 2. ; Мир, Москва; 1985; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=45372> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Шварцшильд, Шварцшильд М., Кононович, Э. В., Масевич, А. Г.; Строение и эволюция звезд; УРСС, Москва; 2004 (1 экз.)
2. Масевич, А. Г.; Эволюция звезд: теория и наблюдения; Наука, Москва; 1988 (4 экз.)
3. Бисноватый-Коган, Г. С.; Физические вопросы теории звездной эволюции; Наука, Москва; 1989 (3 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Университетская библиотека онлайн. URL: <http://biblioclub.ru>
2. Электронная научная библиотека. URL: <https://elibrary.ru>
3. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru>

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>
2. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>
3. Информационно-поисковая система по астрономии ADS (Astrophysical Data System). URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/#>
4. Информационно-поисковая система препринтов по астрономии arXiv astro-ph. URL: <https://arxiv.org/archive/astro-ph>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Строение и эволюция звезд

Сведения об оснащении дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
3	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя	Не требуется
4	Самостоятельная работа студентов	Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Mozila Firefox
5	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Теоретическая астрофизика

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Кузнецов Эдуард Дмитриевич	доктор физико-математических наук, доцент	Заведующий кафедрой	астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды
2	Островский Андрей Борисович	без ученой степени, без ученого звания	Старший преподаватель	астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 6 от 15.10.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Кузнецов Эдуард Дмитриевич, Заведующий кафедрой, астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды
- Островский Андрей Борисович, Старший преподаватель, астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Основные понятия	Характеристики поля излучения: интенсивность, поток, плотность. Моменты интенсивности излучения. Тензор давления излучения. Излучение и вещество: общая картина блуждания кванта, коэффициент поглощения, коэффициент излучения. Истинное поглощение и рассеяние. Понятие о функции перераспределения по углам и частотам. Профиль коэффициента излучения. Приближение полного перераспределения по частотам. Уравнение переноса излучения (УПИ). Оптическая глубина и функция источников. Формальное решение. Уравнение Шварцшильда-Милна. Моменты уравнения переноса – энергии, полного импульса. Условие лучистого равновесия. Диффузионное приближение. Решение УПИ в приближении Эддингтона. Метод дискретных ординат. Точное решение для серой атмосферы.
P2	Свойства излучающей среды	Коэффициенты Эйнштейна и их связь с коэффициентами поглощения и излучения. Функция источников двухуровневой задачи. Вычисление коэффициента поглощения - классический подход. Лоренцевский профиль и сила осциллятора. Вычисление коэффициента поглощения – квантовый подход. Сила перехода. Поглощение в континууме. Соотношения Эйнштейна-Милна. Поглощение атомом водорода: множители Гаунта, общие формулы для водородных к-тов поглощения.

		Коэффициенты поглощения в звездной атмосфере: водород, отрицательный ион водорода, томсоновское и рэлеевское рассеяние. ЛТР. Теорема Росселанда.
Р3	Перенос в линиях	Уширение линий: естественное, доплеровское, профиль Фойгта, ударное, статистическое. Функция Хольцмарка. Штарк-эффект. Уширение из-за вращения звезды. Модель Милна-Эддингтона. Кривая роста в модели Милна-Эддингтона. Теоретическая и эмпирическая кривые роста. Микротурбулентность. Использование кривых роста. Модели атмосфер и определение химсостава звезд.
Р4	Планетарные туманности	Линии “небулия”. Запрещенные линии в спектрах ПТ. Основные механизмы свечения линий в ПТ – фотоионизационно-рекомбинационный, флуоресценция Боуэна, свечение “небулия”. Зоны Стремгрена. Определение электронной температуры и концентрации. Методы Занстра определения температуры центральной звезды ПТ.

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	учебно-исследовательская, научно-исследовательская	Технология формирования уверенности и готовности к самостоятельной успешной профессиональной деятельности	ОПК-2 - Способен выполнять исследования при решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и осуществлять сложные реальные или модельные эксперименты	Д-2 - Проявлять ответственность и настойчивость в достижении цели

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Теоретическая астрофизика

Электронные ресурсы (издания)

1. Соболев, В. В.; Курс теоретической астрофизики : учебник.; Наука, Москва; 1985; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=44295> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Соболев, В. В.; Курс теоретической астрофизики : [учебник для студентов вузов по специальности "Астрономия"].; Наука, Москва; 1985 (4 экз.)

2. Сахибуллин, Н. А.; Определение фундаментальных параметров звезд; Фэн, Казань; 2003 (1 экз.)
3. Сахибуллин, Н. А.; Звездные атмосферы; Фэн, Казань; 1997 (1 экз.)
4. Бочкарев, Н. Г.; Основы физики межзвездной среды : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Астрономия".; URSS, Москва; 2015 (2 экз.)
5. , Саечников, В. А., Чернявская, Э. А., Хомич, М. И., Верхотурова, Е. В.; Ч. 1 : пособие для студентов, обучающихся по специальности 1-31 04 04 "Аэрокосмические радиоэлектронные и информационные системы и технологии".; БГУ, Минск; 2012 (1 экз.)
6. Kwok, S.; Physics and Chemistry of the Interstellar Medium; University Science Books, Sausalito; 2007 (1 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Университетская библиотека онлайн. URL: <http://biblioclub.ru>
2. Электронная научная библиотека. URL: <https://elibrary.ru>
3. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru>

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>
2. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>
3. Информационно-поисковая система по астрономии ADS (Astrophysical Data System). URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/#>
4. Информационно-поисковая система препринтов по астрономии arXiv astro-ph. URL: <https://arxiv.org/archive/astro-ph>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Теоретическая астрофизика

Сведения об оснащении дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в	WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr STUUseBnft C Student EES

		<p>соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	<p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>Mozilla Firefox</p>
2	Практические занятия	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	<p>WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr STUUseBnft C Student EES</p> <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>Mozilla Firefox</p>
3	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	<p>WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr STUUseBnft C Student EES</p> <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>Mozilla Firefox</p>
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	<p>WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr STUUseBnft C Student EES</p> <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>Mozilla Firefox</p>
5	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	<p>WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr STUUseBnft C Student EES</p> <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>Mozilla Firefox</p>

